

Aprofitament de l'energia geotèrmica per
satisfer les necessitats de climatització i
aigua sanitària calenta de la vivenda
unifamiliar del Passeig de la Creu de Sant
Cugat del Vallès.

Autor: Gerard Ramon Fargas González

Tutor: David Pérez Hidalgo

Curs: 2013-2014

Índex.

1. Resum	pàg. 1
2. Introducció	pàg. 2
3. Antecedents	pàg. 2
3.1 Introducció	pàg. 2
3.2 Conceptes bàsics	pàg. 3
3.2.1 Gradient geotèrmic	pàg. 3
3.2.2 Fluid geotèrmic	pàg. 3
3.2.3 Recurs geotèrmic	pàg. 3
3.2.4 Jaciment geotèrmic	pàg. 4
3.3 Tecnologies per a l'aprofitament de l'energia geotèrmica	pàg. 4
3.3.1 Tecnologies per a usos directes del calor	pàg. 4
4. Model seleccionat	pàg. 5
5. Context geogràfic	pàg. 6
6. Context geològic	pàg. 7
6.1 Emplaçament geològic i unitats característiques.	pàg. 7
6.2 Nivells estratigràfics i materials característics.	pàg. 7
6.3 Tall geològic de la zona d'estudi.	pàg. 8
7. Context geotèrmic	pàg. 8
7.1 Mapa de temperatures superficials.	pàg. 8
7.2 Mapa de conductivitats tèrmiques	pàg. 9
7.3 Mapa de gradient geotèrmic.	pàg. 9
8. Context hidrològic	pàg. 10
9. Dimensionament de la instal·lació geotèrmica	pàg. 10
10. Estudi econòmic	pàg. 14
11. Conclusions	pàg. 17
12. Bibliografia	pàg. 17
13. Agraïments	pàg. 18
Annex. Introducció a la geotèrmia.	

1. Resum

La creixent sensibilització ambiental i el context energètic actual de la societat han donat lloc a que les energies renovables, l'estalvi i la eficiència energètica es trobin en el punt de mira com una de les millors opcions per a satisfer les necessitats de subministrament energètic. Aquest treball s'ha basat en l'ús de l'energia geotèrmica, l'origen de la qual resideix en el calor de l'interior de la Terra. Existeixen diferents tipus de recursos geotèrmics, els quals comprenen des del calor que pot observar-se en els horitzons més superficials del sòl fins el que es troba emmagatzemat en roques situades a grans profunditats. Per a poder utilitzar aquest recurs, és necessari dimensionar la instal·lació correctament per tal de poder satisfer les necessitats de climatització i aigua sanitària calenta (ACS) de la vivenda unifamiliar, per tant, per escollir el sistema més adequat per a una instal·lació determinada cal tenir en compte els següents aspectes: la geologia i la hidrologia del terreny de la zona d'estudi, les dimensions i ús de la superfície disponible, l'existència de fonts de calor potencials i les característiques de la vivenda en quant a climatització respecte.

Paraules clau: sensibilització ambiental, energies renovables, energia geotèrmica, recursos geotèrmics, climatització, aigua sanitària calenta.

Resumen.

La creciente sensibilización ambiental y el contexto energético actual de la sociedad han dado lugar a que las energías renovables, el ahorro y la eficiencia energética se encuentren en el punto de mira como una de las mejores opciones para satisfacer las necesidades de abastecimiento energético. Este trabajo se ha basado en el uso de la energía geotérmica, el origen de la cual reside en el calor del interior de la Tierra. Existen diferentes tipos de recursos geotérmicos, los cuales comprenden desde el calor que puede observarse en los horizontes más superficiales del suelo hasta el que se encuentra almacenado en rocas situadas a grandes profundidades. Para poder utilizar este recurso, es necesario dimensionar la instalación correctamente, para poder satisfacer las necesidades de climatización y agua sanitaria caliente (ACS) de la vivienda unifamiliar, de manera que para escoger el sistema más adecuado para una instalación determinada hay que tener en cuenta los siguientes aspectos: la geología y la hidrología del terreno de la zona de estudio, las dimensiones y uso de la superficie disponible, la existencia de fuentes de calor potenciales y las características de la vivienda en cuanto a climatización se refiere.

Palabras clave: sensibilización ambiental, energías renovables, energía geotérmica, recursos geotérmicos, climatización, agua sanitaria caliente.

Summary.

The increasing environmental sensitization and the actual energetic context of the society has lead to renewable energies, energy saving and efficiency be perceived as the best option to supply the needs in energetic consumption. This research work is based on geothermal energy, which originates in the Earth's interior. There are different types of geothermal resources which cover a wide range from superficial to deep horizons. For using geothermal energy it is necessary to dimension the installation properly in order to satisfy the needs of the studied

house (acclimatization, hot sanitary water). In order to choose the most suitable system it is essential to take into account the following aspects: the geology and hydrology of the terrain, the dimensions and surface area available, the existence of a heat source and the characteristics of the house with respect to acclimatization.

Key words: environmental sensitization, renewable energies, geothermal energy, geothermal resources, acclimatization, hot sanitary water.

2. Introducció

L'objectiu principal d'aquest treball ha estat contemplar la viabilitat de l'aprofitament de l'energia geotèrmica per satisfer les necessitats de climatització i aigua sanitària calenta (ACS) d'una vivenda unifamiliar.

En aquest treball en primer instant s'ha procedit a la recerca d'antecedents de l'energia geotèrmica, en segon lloc s'ha dut a terme una recerca de informació sobre la geografia, geologia i hidrologia del municipi, en tercer lloc s'ha procedit a l'estudi geològic més detallat de la zona d'interès, a partir de l'informe geotècnic proporcionat per la empresa BiU (arquitectura i paisatge) en el que mitjançant un seguit d'assaigs de mecànica de sòls, ja sigui "in-situ", mitjançant dos sondeigs de rotació amb barrena helicoidal, o al laboratori realitzant proves de resistència i assaigs químics, s'ha pogut conèixer la litologia predominant i representativa en el solar i caracteritzar-la geològicament i geotècnicament.

Una vegada obtinguda tota la informació necessària sobre l'àrea de interès s'ha procedit a la realització dels càlculs pertinents per tal de poder avaluar si el terreny estudiat proporciona l'energia geotèrmica necessària com per satisfer les necessitats de la vivenda unifamiliar, i dimensionar la instal·lació geotèrmica.

Finalment s'ha dut a terme un estudi econòmic en el que es compara la despesa que comporta una instal·lació de gasoil, gas natural i bomba geotèrmica, per tal de poder demostrar que l'ús de la bomba de calor geotèrmica és més econòmic amb el pas del temps.

3. Antecedents

3.1 Introducció

La creixent sensibilització ambiental i el context energètic de la societat han donat lloc a que les energies renovables, l'estalvi i la eficiència energètica s'hagin convertit en una de les millors opcions per satisfer les necessitats de subministrament energètic.

L'energia geotèrmica es diferencia de la resta de energies renovables, ja que prové del calor de l'interior de la Terra, que té el seu origen en els moviments diferencials entre les diferents capes que constitueixen la Terra, en el calor inicial que es va alliberar durant la seva formació el qual encara arriba a la superfície, en la desintegració de isòtops radioactius presents a l'escorça i al mantell i en el calor alliberat en la cristallització del nucli extern.

L'energia geotèrmica engloba el calor emmagatzemat en les roques, sòls i aigües subterrànies, sense importar quina sigui la seva temperatura, profunditat i origen, però no el contingut en les masses d'aigua superficials tant continentals com marines.

3.2 Conceptes bàsics

3.2.1 Gradient geotèrmic

El gradient geotèrmic es pot definir com l'augment de temperatura que es registra a l'augmentar la profunditat. En general a la major part del planeta el valor del gradient geotèrmic s'ha pogut establir entre els 2,5°C i els 3°C cada 100 metres de profunditat. En algunes zones l'augment de la temperatura amb la profunditat és molt superior a l'indicat anteriorment, aquest és l'anomenat gradient geotèrmic anòmal, el qual coincideix amb àrees geològicament actives de l'escorça terrestre.

Per tant, el concepte de gradient geotèrmic permet donar a terme estimacions sobre el flux de calor que es transmet des de les zones internes de l'escorça fins les externes. Aquest concepte s'expressa en mW/m^2 i representa la quantitat de calor geotèrmic que es desprèn per unitat de superfície.

3.2.2 Fluid geotèrmic

El calor que es troba contingut en les roques i els sòls està massa difós per a ser extret de forma econòmica, de manera que és necessària la presència d'un fluid que transporti la calor fins la superfície d'una manera concentrada. En general aquest fluid geotèrmic consisteix en un líquid calent, ric en sals minerals i/o vapors, en la majoria dels casos és aigua. Un cop en superfície el fluid geotèrmic, es destinarà en funció del seu contingut en calor, si és possible a la producció d'energia elèctrica o en cas contrari el seu calor s'aprofitarà directament mitjançant l'ús de bombes de calor o intercanviadors.

3.2.3 Recurs geotèrmic

El recurs geotèrmic es defineix com la fracció d'energia geotèrmica aprofitada de una manera tècnica i econòmica. Aquest concepte de recurs geotèrmic inclou des del calor que pot observar-se en els horitzons més superficials del sòl fins el que es troba emmagatzemat en roques situades a grans profunditats.

Es poden observar diversos tipus de recursos geotèrmics els quals es classifiquen segons el seu nivell tèrmic o el que és el mateix, la seva entalpia, que condiciona el seu aprofitament.

La classificació que es presenta en aquest treball es basa en els valors de temperatura admesos per la Plataforma Tecnològica Espanyola de Geotermia (GEOPLAT).

- Recursos geotèrmics d'alta entalpia ($T > 150^\circ\text{C}$)
- Recursos geotèrmics de mitja entalpia ($T = 100-150^\circ\text{C}$)
- Recursos geotèrmics de baixa entalpia ($T = 30-100^\circ\text{C}$)
- Recursos geotèrmics de molt baixa entalpia ($T < 30^\circ\text{C}$): Aquests recursos es solen trobar a profunditats inferiors a 200m de profunditat. Les aplicacions principals d'aquest tipus

de recurs es centren en els usos directes de la calor com per exemple climatització i aigua sanitària calenta (ACS) en zones urbanes. Aquest treball es centrarà en aquest tipus de recurs.

3.2.4 Jaciment geotèrmic

El jaciment geotèrmic es defineix com un espai físic a l'interior de l'escorça terrestre amb unes condicions geològiques determinades, en el que es localitza un recurs geotèrmic l'explotació del qual és econòmicament viable.

Els jaciments geotèrmics poden classificar-se segons diferents criteris: context geològic, nivell de temperatura, mètode d'explotació i tipus d'ús. En aquest cas es presenta una classificació basada en el nivell tèrmic dels fluids que contenen.

- Jaciments d'alta entalpia: el fluid es troba en unes condicions d'alta pressió i temperatura ($T > 150^{\circ}\text{C}$).
- Jaciments de mitja entalpia: el fluid es troba a temperatures que varien de 100 a 150°C .
- Jaciments de baixa entalpia: el fluid es troba a temperatures que varien de 30 - 100°C .

Per els casos en que l'energia geotèrmica és de molt baixa temperatura no s'acostuma a utilitzar el terme jaciment, ja que aquest recurs es troba molt difós a la superfície terrestre.

3.3 Tecnologies per a l'aprofitament de l'energia geotèrmica

Depenent de si es tracta d'un recurs d'alta, mitja o baixa entalpia es podrà determinar el grau d'aprofitament d'aquest recurs.

Les tecnologies aplicades varien en cada cas ja que depèn de la profunditat a la qual es trobi el recurs, de l'aprofitament previst i essencialment del tipus de recurs.

Aquest treball es centrarà en els usos directes de l'energia geotèrmica, ja que el recurs a partir del qual es desenvolupa aquest treball estaria comprès dins el grup de recurs geotèrmic de molt baixa entalpia, a continuació es tractarà l'apartat de les diferents tecnologies emprades per a usos directes de la calor.

3.3.1 Tecnologies per a usos directes de la calor

Aquest treball es centrarà en explicar les diverses tecnologies existents en el camp de la geotèrmia somera.

Degut a l'estabilitat tèrmica que presenta el subsòl en front dels canvis estacionals, en els seus primers 100-200 metres, resulta un medi molt adequat per proporcionar i emmagatzemar energia tèrmica.

Les tecnologies per aprofitar aquesta energia emmagatzemada en els primers metres de l'escorça terrestre són bàsicament dos:

- Bomba de calor geotèrmica: s'utilitza en sistemes de climatització i aigua sanitària calenta (ACS).
- Emmagatzematge subterrani de l'energia tèrmica: s'utilitza principalment en ponts, carreteres, pistes d'aterratge, etc.

Aquest treball es centrarà únicament en l'ús de la bomba de calor geotèrmica, la qual extreu la calor del subsòl a una temperatura relativament baixa, augmentant-la mitjançant el consum d'energia elèctrica, per possibilitar el seu ús posterior en sistemes de calefacció i aigua sanitària calenta. Existeix la opció de invertir el procés injectant la calor absorbida per la refrigeració en el subsòl. Aquest tipus de tecnologia representa una de les poques possibilitats d'aprofitament dels recursos de molt baixa entalpia ($T < 30^{\circ}\text{C}$).

Un cop escollida la bomba de calor geotèrmica com a tecnologia per aprofitar l'energia geotèrmica en el cas que ens ocupa, caldrà determinar el tipus de sistema que s'instal·larà, el qual dependrà de l'accessibilitat del recurs geotèrmic. Els sistemes existents poden classificar-se en dos categories principals:

- Circuits oberts, els quals es basen en l'ús d'aigües subterrànies, ja que en aquest cas l'aigua subterrània actua com a font de calor i com a medi per el intercanvi de calor. En general són necessaris dos sondejos, un per a l'extracció de l'aigua subterrània i un altre per a reinjectar-la en el mateix aquífer del que ha estat obtinguda. Aquests sistemes estan localitzats en zones amb aquífers al·luvials amb grans productivitats i piezometries someres.
- Circuits tancats, es basen en l'ús d'un fluid, que bàsicament és aigua amb algun additiu, per extreure la calor dels materials a poca profunditat en el subsòl. Aquests circuits impliquen la instal·lació de intercanviadors enterrats, els quals contenen un fluid termoportador en el seu interior que cedeix l'energia del subsòl a la bomba i viceversa. Per tant en aquest cas és el fluid que circula per el intercanviador en circuit tancat el que es porta a la bomba de calor i no l'aigua subterrània com succeïa en el cas dels sistemes oberts. Els sistemes tancats permeten aprofitar la calor acumulada en els materials dels nivells més externs de l'escorça terrestre, en les situacions en que la impermeabilitat del terreny o la profunditat dels nivells no permet explotar l'energia de les aigües del subsòl. Aquests tipus de sistemes poden ser de dos tipus horitzontals i verticals, en funció de com es situïn els intercanviadors en el terreny.

4. Model seleccionat

El model seleccionat en aquest treball ha estat un sistema tancat amb el intercanviador vertical, el qual implica la perforació d'un sondeig la profunditat del qual pot variar, però normalment és entre els 60 i 200 metres de profunditat amb un diàmetre de 10 a 15 cm, en aquest sondeig s'introdueixen col·lectors de calor, que consisteixen en un doble tub, en el cas més senzill, per els que hi circula el fluid. Aquest tipus de dispositiu vertical de captació de calor es denomina sonda geotèrmica (Fig. 1). S'ha procedit a l'elecció d'aquest model per els següents motius: al no haver presència de la làmina d'aigua es descarta la possibilitat de instal·lar un sistema obert, i degut a la limitació d'espai existent en la zona d'estudi també es

descarta la possibilitat de instal·lar un sistema tancat horitzontal ja que aquests requereixen una superfície de dimensions considerables.

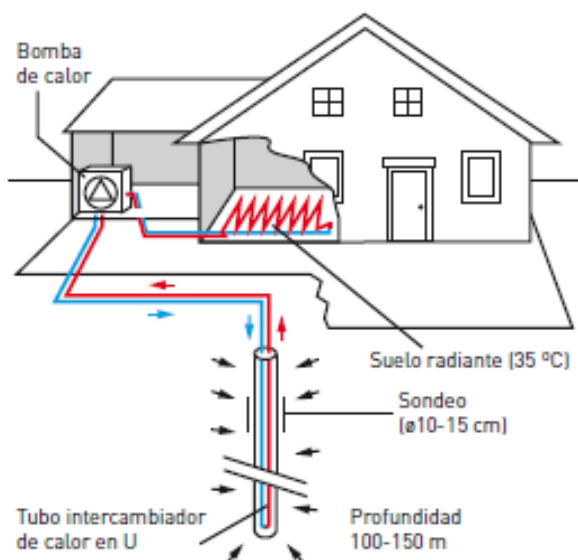


Fig.1 Sonda geotèrmica. Font: Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio técnico para 2011-2020. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

La font de recarrega de l'energia tèrmica captada per els intercanviadors verticals és, en la zona superficial, la radiació solar i en la zona inferior, el flux de calor geotèrmic, amb certa influència de l'aigua subterrània que circula.

Prèviament a la instal·lació de una sonda geotèrmica cal recopilar informació sobre la conductivitat del terreny, la humitat natural del sòl, la presència o no d'aigües subterrànies i el tipus de prestacions de la instal·lació prevista. En aquells casos en que són necessàries potències majors a les habituals poden utilitzar-se camps de sondes geotèrmiques.

5. Context geogràfic

La zona d'estudi es troba localitzada al municipi de Sant Cugat del Vallès, a la comarca del Vallès Occidental a la província de Barcelona. El municipi en qüestió està situat entre la Serra de Collserola i la Serra de Galliners, i limita amb Barcelona, Molins de Rey, El Papiol, Rubí, Cerdanyola, etc.



Fig.2 Mapa geogràfic de la zona d'estudi. Font: google maps

6.3 Tall geològic de la zona d'estudi



Fig. 4 Tall geològic de la zona d'estudi. Font: modificat de Informe geotècnic.

7. Context geotèrmic

7.1 Mapa de temperatures superficials

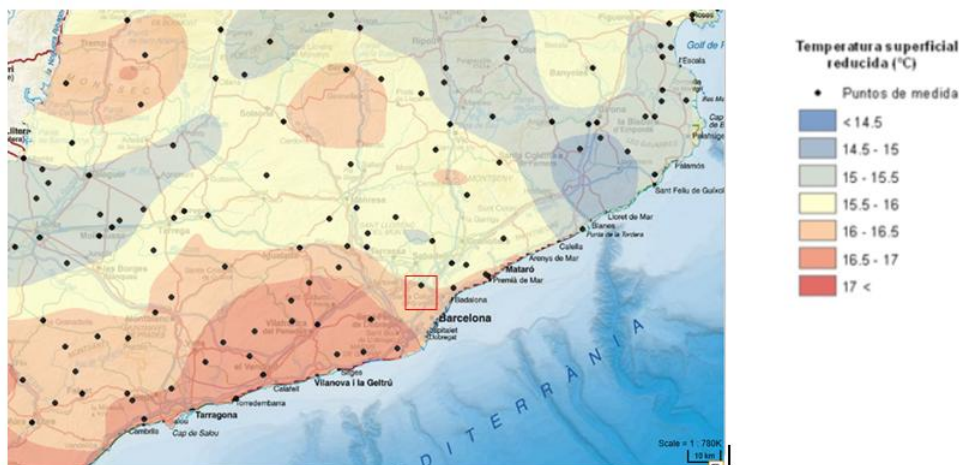


Fig. 5 Mapa de temperatura mitja superficial. Font: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC).

Aquest mapa mostra les temperatures superficials mitjanes anuals per a tota Catalunya. Es pot observar que la zona d'estudi presenta una temperatura superficial mitja anual d'aproximadament 16 °C.

7.2 Mapa de conductivitats tèrmiques

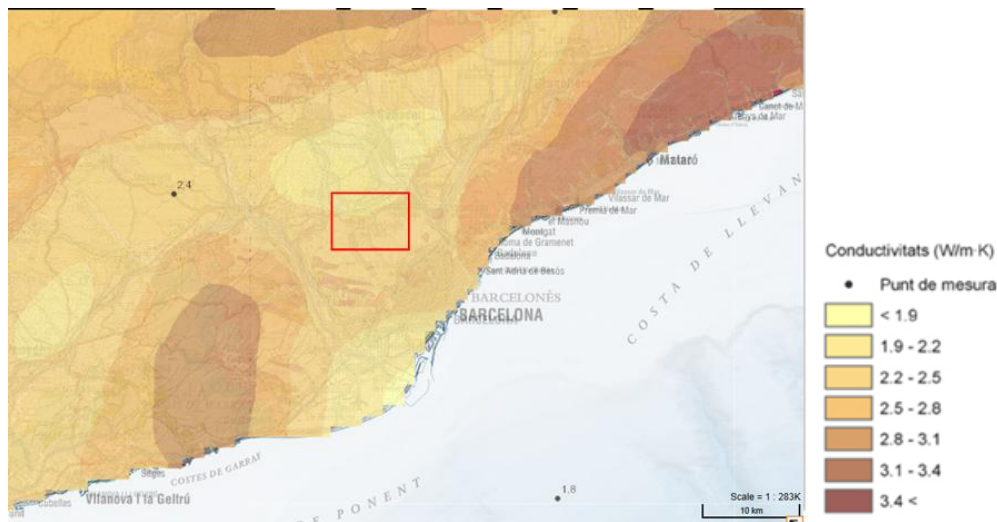


Fig. 6 Mapa de conductivitats tèrmiques. Font: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC).

Aquest mapa mostra una generalització de la conductivitat tèrmica dels materials en superfície. Es pot observar que la zona d'estudi presenta una conductivitat baixa.

7.3 Mapa de gradient geotèrmic

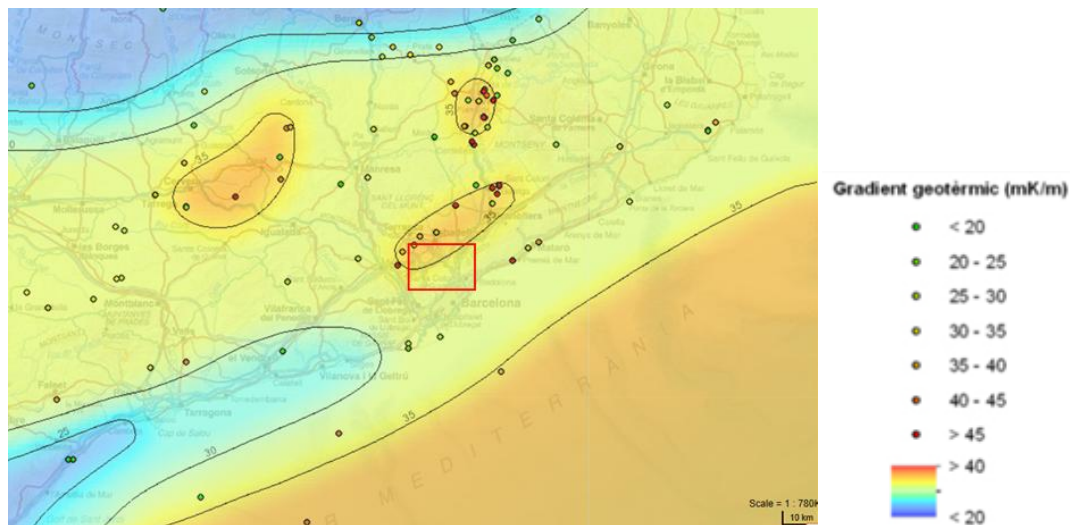


Fig. 7 Mapa del gradient geotèrmic. Font: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (ICGC).

Aquest mapa mostra la tendència regional del gradient geotèrmic superficial, el valor mig que s'observa en general a Catalunya és de 3°C cada 100m. Es poden observar anomalies a la depressió del Vallès, en les comarques centrals i en les terres de l'Ebre, les quals tenen el seu origen en la circulació de aigües subterrànies ascendents (anomalies positives) i descendents (anomalies negatives). Es pot observar que la zona d'estudi presenta un gradient geotèrmic superficial que oscil·la entre els 30-35 mK/m

8. Context hidrològic

Les aigües d'aquest municipi tributen a dues conques, la del Besòs, a l'est, i la del Llobregat, a l'oest. Aproximadament el 48 % de la superfície municipal tributa a la conca del Besòs i el 52 % a la del Llobregat.

Cal destacar que no hi ha cursos superficials que puguin afectar o influir a la zona d'estudi.

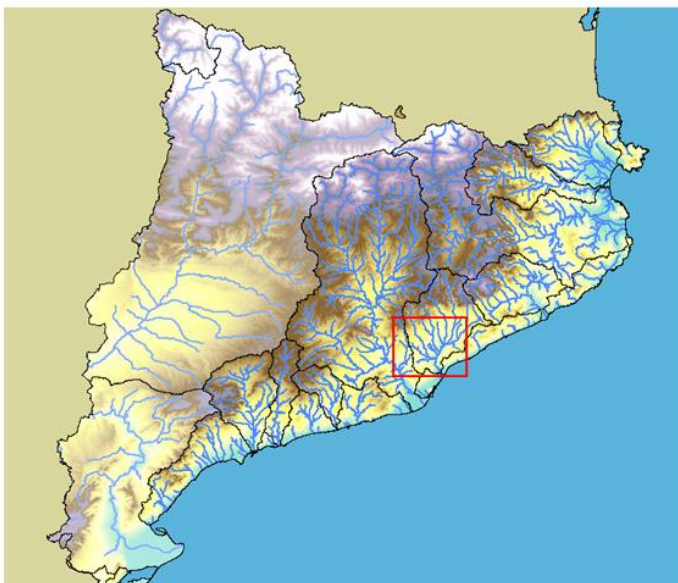


Fig. 8 Mapa xarxa hidrogràfica de Catalunya. Font: Agència Catalana de l'Aigua (ACA).

9. Dimensionament de la instal·lació geotèrmica

En els càlculs realitzats a falta de dades reals s'utilitzen valors orientatius. Caldria fer un estudi més detallat de la zona per a corregir aquesta absència de dades. Cal destacar que en cap dels sondejos s'ha detectat el nivell freàtic per tant aquest paràmetre no es tindrà en compte en el dimensionament de la instal·lació geotèrmica, de manera que es descarten els sistemes oberts. Per limitacions d'espai en la zona d'estudi es descarta la possibilitat de instal·lar sistemes tancats amb el intercanviador horitzontal i camps de sondes geotèrmiques. Per tant la instal·lació consistirà en una sola sonda geotèrmica.

- 1) En primer lloc s'ha de determinar la carga tèrmica de la vivenda unifamiliar de 140 m² (climatització + ACS).

Climatització:

La demanda d'energia de la vivenda serà de 24,51 W/m² al estiu i 24,41 W/m² al hivern. En aquest cas s'utilitzarà el valor superior, és a dir, la demanda de l' estiu ja que realitzant els càlculs amb aquest valor també quedarà inclòs el valor del hivern, de manera que es compliran les condicions per a tot l'any.

$$\begin{aligned} \text{necessitats de climatització} &= 140 * 24,51 \\ \text{necessitats de climatització} &= 3431,4 \text{ W} = 3,4 \text{ kW} \end{aligned}$$

La demanda anual de climatització, es calcula mitjançant el mètode de graus-dia, segons la següent expressió:

$$Demanda\ anual_{climatització} = \frac{P * G * 24h * Cui}{(T_i - T_e) * \eta}$$

En que:

- P = 3,4 kW (potència de la climatització).
- G = 1281 (nº graus dia. Font: PVGIS)
- Cui = 0,8 (coeficient de ús)
- Ti = 22°C (Temperatura interna)
- Te = 15°C (Temperatura mitja més baixa de la zona, obtinguda a partir de la mitja de valors per el període 2000-2011. Font: Institut meteorològic de Catalunya)
- n= 1 (rendiment)

$$Demanda\ anual_{climatització} = \frac{3,4 * 1281 * 24 * 0,8}{(22 - 15) * 1}$$

$$Demanda\ anual_{climatització} = 11946\ kWh/any$$

ACS:

El consum corresponent a la demanda d'aigua calenta sanitària (ACS) s'ha calculat en base a las directrius del CTE (Código técnico de la edificación), de la mateixa manera que es calcula per a instal·lacions de energia solar tèrmica.

Coneixent l'ocupació i el tipus de vivenda, s'estima que serà necessari un caudal diari de 150l/dia = 0,15 m³/dia.

$$DE_{mes,i} = 1,16 \times 10^{-3} * D_{dia} * N_{días,i} * C_p * \rho * (T_{ACS} - T_{red,i})$$

En que:

- N_{días,i} és el número de dies del mes i.
- D_{dia} és el caudal diari (m³/dia).
- T_{red,i} és la temperatura mitja de l'aigua de la xarxa en el mes i (Font: CTE)
- T_{ACS} és la temperatura final d'escalfament de l'ACS (60°C com a referència) (Font: CTE)
- C_p és el calor específic de l'aigua (1kcal/kg.°C)
- ρ és la densitat de l'aigua (1.000kg/m³)

		Ddia (m3/dia)	N dias	calor especific de l'aigua (1kcal/kg.°C)	ρ de l'aigua (1.000kg/m3)	TACS- Tred	DE mes (kWh/any)
gener	0,00116	0,15	31	1	1000	51	275,09
febrer	0,00116	0,15	28	1	1000	50	243,60
març	0,00116	0,15	31	1	1000	49	264,31
abril	0,00116	0,15	30	1	1000	48	250,56
maig	0,00116	0,15	31	1	1000	46	248,12
juny	0,00116	0,15	30	1	1000	43	224,46
juliol	0,00116	0,15	31	1	1000	41	221,15
agost	0,00116	0,15	31	1	1000	41	221,15
setembre	0,00116	0,15	30	1	1000	43	224,46
octubre	0,00116	0,15	31	1	1000	45	242,73
novembre	0,00116	0,15	30	1	1000	48	250,56
desembre	0,00116	0,15	31	1	1000	50	269,70
DE any (kWh/any)							2935,90

Taula 1. Consum anual per a satisfer les necessitats anuals d'ACS. Font: elaboració pròpia.

A partir de l'expressió anterior, s'ha calculat el consum corresponent a la demanda mensual d'ACS, la suma de tots els valors correspon al consum anual.

$$DE_{any} = 2935,9 \text{ kWh/any}$$

- 2) En segon lloc es duu a terme la caracterització de la potència de la bomba de calor geotèrmica a partir del consum anual de climatització, del de ACS i del factor de capacitat (FC).

El factor de capacitat reflexa el percentatge equivalent d'hores de funcionament anual a plena carga d'un determinat tipus de instal·lació. En aquest cas, el factor de capacitat es considera 0,19 (Font: Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio técnico para 2011-2020. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)

A partir de les dades calculades en el apartat 1, es procedeix al càlcul de la potència que ha de tenir la bomba de calor geotèrmica, segons la següent expressió:

$$P_{BCG} = \frac{\text{Demanda anual (kWh/any)}}{FC \cdot 8760 \text{ (h/any)}} = \frac{\text{Demanda climatització} + \text{Demanda ACS}}{FC \cdot 8760 \text{ (h/any)}}$$

$$P_{BCG} = \frac{11946 + 2935,9}{0,19 \cdot 8760} = 8,94 \text{ kW}$$

En funció del valor de potència obtingut s'ha seleccionat una bomba de calor geotèrmica model VWS 101/2 de 10,5 kW, el seu coeficient de rendiment (COP) és de 4,6.

- 3) En tercer lloc es procedeix a realitzar el càlcul de la longitud de la sonda de captació geotèrmica.

Per dimensionar la instal·lació geotèrmica s'han de conèixer les propietats del terreny. A partir de l'estudi geotècnic realitzat a l'àrea d'estudi, s'ha pogut determinar que la litologia present en l'emplaçament consisteix en argiles i llims poc consolidats amb un grau d'humitat variable. En base a aquestes dades i a partir de la taula 2, s'ha determinat que el potencial tèrmic superficial té un rang de 30-50 W/m.

Grupo	Tipo de litología	Caracterización hidráulica	Potencial térmico superficial (W/m)
A	Arenas, gravas arcillas y limos	Muy secos y nivel muy profundo (>30 m)	< 25
B	Arcillas y limos	Húmedos	30-50
C	Calizas, dolomías, basaltos y calcarenitas	Húmedos	40-60
D	Gravas, gravillas, arenas, areniscas, granitos y otras rocas metamórficas con esquistos y gneises	Húmedos. Nivel somero.	60-80
E	Gravas y arenas	Muy permeables, nivel muy somero y elevada circulación de agua	80-100

Taula 2. Grups de litologies establertes en funció de característiques tèrmiques de la roca i potencial tèrmic corresponent. Font: Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio técnico para 2011-2020. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

Per a poder determinar la longitud de la sonda és necessari determinar primer la potencia del evaporador, que és la potència que té que proporcionar la sonda geotèrmica.

Per tant, la longitud de la perforació es farà en base a la norma UNE-EN 14511-3:2012, la qual determina que les equacions per el càlcul són:

$$Potencia\ evaporador_{terreny} = \frac{[Potencia\ climatització * (COP - 1)]}{COP} = \frac{[10,5 * (4,6 - 1)]}{4,6}$$

$$= 8,2\ kW$$

En que:

- Potencia climatització: 10,5 kW (Font: catàleg Vaillant geotherm).
- Coeficient de rendiment (COP): 4,6 (Font: catàleg Vaillant geotherm).

La longitud de la sonda serà de:

$$Longitud\ sonda = \frac{Potencia\ evaporador_{terreny}}{Potencial\ tèrmic_{terreny}} = \frac{8200\ W}{50\ W/m} = 164\ m$$

Finalment, s'obté que per disposar d'una bomba de calor de 10,5 kW, s'ha de dissenyar una sonda geotèrmica amb una potència de intercanvi de 8,2 kW, per assolir aquesta potència s'ha de realitzar una perforació de 164 m.

S'ha de tenir en compte que per a la profunditat que correspon amb la calculada, s'ha considerat que tota la columna de materials té les mateixes característiques que els primers 10 m degut a l'absència de dades.

- 4) En quart i últim lloc es duu a terme el càlcul del consum elèctric anual de la bomba de calor.

Per determinar el cost real de funcionament de la instal·lació s'ha d'establir el consum elèctric de la bomba de calor. Del model seleccionat s'obté que la potencia elèctrica d'aquest dispositiu és de 2,3 kW, que si ho multipliquem per les hores de funcionament a l'any, s'obtindrà l'energia consumida anualment (kWh/any)

Les hores de funcionament són el resultat del producte del factor de capacitat (0,19) per les hores de l'any (8760 h/any). Un total de 1664 (h/any).

$$Consum_{anual} = 2,3 \text{ kW} * 1664,4 \text{ h/any} = \frac{3828 \text{ kWh}}{\text{any}} \approx 4000 \text{ kWh/any}$$

El consum de la instal·lació serà aproximadament de 4 MWh/any.

El cost econòmic anual lligat a aquest consum, si tenim en compte el preu de l'electricitat d'aproximadament 11c€/kWh, llavors tenim que el preu que s'haurà de pagar a l'any per el consum de la instal·lació serà de:

$$Cost_{econòmic} = 4000 \text{ kWh/any} * 0.116965 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 468\text{€/any}$$

10. Estudi econòmic

En aquest treball s'ha considerat necessari duu a terme un estudi econòmic senzill en el que es comparen els costos generats per a cada un dels tres recursos contemplats (Gasoil, Gas Natural i Bomba Geotèrmica), per així poder observar d'una manera clara que l'ús de la bomba geotèrmica en comparació amb l'ús del gasoil o gas natural en primer instant suposa una inversió inicial elevada, no obstant al llarg d'un període temporal d'una dècada, l'estalvi és notable.

	Unitat	€/ Unitat	Poder calorífic KWh/unitat	Preu €/KWh	Rendiment típic %	Preu €/KWh efectiu
Gasoil	litre	1,0970	9,75	0,1125	70	0,1607
Gas Natural	KWh (PCI)	0,0575	1	0,0575	73	0,0788
Bomba geotèrmica	KWh					0,1170

Taula 3. Taula emprada per a calcular el preu (€) per KWh efectiu en cadascun dels tres recursos contemplats. Font: elaboració pròpia.

Necessitat de KWh (Climatització+ ACS)	14881,9
Cost consum anual Gasoil (€)	2392,01
Cost consum anual Gas Natural (€)	1172,39
Cost consum anual Bomba de Calor (€)	468,00
Estalvi anual Geotèrmia respecte Gasoil (€)	1924,01
Estalvi anual Geotèrmia respecte Gas Natural (€)	704,39

Taula 4. Taula que presenta la necessitat anual de KWh, per a satisfer la demanda de climatització i aigua sanitària calenta (ACS). Relacionat amb aquesta necessitat de KWh es presenten els diferents costos que aquesta ocasiona per a cadascun dels tres recursos. També es presenta l'estalvi produït per l'ús de la geotèrmia. Font: elaboració pròpia.

Inversió inicial (€)	
5000	Gasoil: Caldera + Cremador + Dipòsit de gasoil + Dipòsit ACS + Instal·lació
3500	Gas natural: Caldera mixta + Dipòsit ACS + Acometida Gas + Contadors + Instal·lació
19979,13	Bomba de calor geotèrmica: Bomba (ACS, calor i fred) + Sonda i perforació + Dipòsit ACS + Instal·lació

Taula 5. Inversió inicial de cada recurs. Font: elaboració pròpia.

Comparativa Gasoil (ACS, Calor)	
Inversió inicial €	5000

		Acumulats €
Any 1	Consum anual + Manteniment i revisions	2567,46
Any 2	Increment 7,5%	2935,47
Any 3	Increment 7,5%	3331,08
Any 4	Increment 7,5%	3756,36
Any 5	Increment 7,5%	4213,53
Any 6	Increment 7,5%	4705,00
Any 7	Increment 7,5%	5233,32
		5000

Taula 6. Evolució del cost total (Inversió inicial + Consum anual+ Manteniment i Revisions) ocasionat per la instal·lació de Gasoil amb el pas del temps. Font: elaboració pròpia.

Comparativa Gas Natural (ACS, Calor)	
Inversió inicial €	3500

		Acumulats €
Any 1	Consum anual + Manteniment i revisions	1347,84
Any 2	Increment 5,83%	1601,87
Any 3	Increment 5,83%	1870,71
Any 4	Increment 5,83%	2155,22
Any 5	Increment 5,83%	2456,32
Any 6	Increment 5,83%	2774,97
Any 7	Increment 5,83%	3112,20
Any 8	Increment 5,83%	3469,09
Any 9	Increment 5,83%	3846,79
Any 10	Increment 5,83%	4071,06
		3500,00

Taula 8. Evolució del cost total (Inversió inicial + Consum anual+ Manteniment i Revisions) ocasionat per la instal·lació de Gas Natural amb el pas del temps. Font: elaboració pròpia.

Comparació Gasoil i Bomba Geotèrmica.

Comparant les taules 6 i 7 es pot observar com a partir del sisè any es fa rentable l'ús de la Bomba Geotèrmica.

Comparació Gas Natural i Bomba Geotèrmica.

Comparant les taules 8 i 9 es pot observar com a partir del desè any es fa rentable l'ús de la Bomba Geotèrmica.

Bomba de calor (ACS, Climatització)	
Inversió inicial €	19979,13

		Acumulats €
Any 1	Consum anual + Manteniment i revisions	468,00
Any 2	Increment 10%	514,80
Any 3	Increment 10%	566,28
Any 4	Increment 10%	622,91
Any 5	Increment 10%	685,20
Any 6	Increment 10%	753,72
Any 7	Increment 10%	829,09
		19979,13

Taula 7. Evolució del cost total (Inversió inicial + Consum anual+ Manteniment i Revisions) ocasionat per la instal·lació de Bomba de Calor amb el pas del temps. Font: elaboració pròpia.

Bomba de calor (ACS, Climatització)	
Inversió inicial €	19979,13

		Acumulats €
Any 1	Consum anual + Manteniment i revisions	468,00
Any 2	Increment 10%	514,80
Any 3	Increment 10%	566,28
Any 4	Increment 10%	622,91
Any 5	Increment 10%	685,20
Any 6	Increment 10%	753,72
Any 7	Increment 10%	829,09
Any 8	Increment 10%	912,00
Any 9	Increment 10%	1003,20
Any 10	Increment 10%	1103,52
		19979,13

Taula 9. Evolució del cost total (Inversió inicial + Consum anual+ Manteniment i Revisions) ocasionat per la instal·lació de Bomba de Calor amb el pas del temps. Font: elaboració pròpia.

11. Conclusions

A partir de tot el que ha estat exposat al llarg d'aquest treball, es pot concloure que sí seria possible satisfer les necessitats de climatització i aigua sanitària calenta d'una vivenda unifamiliar, mitjançant l'ús de l'energia geotèrmica.

A partir dels càlculs realitzats s'ha pogut determinar que per a subministrar una correcta climatització i una disponibilitat d'aigua sanitària calenta a la vivenda mitjançant l'ús de l'energia geotèrmica, seria necessari emprar un sistema tancat amb el intercanviador vertical (sonda geotèrmica), degut a que existeix una limitació d'espai, que no s'ha detectat la lamina d'aigua en cap dels sondejos i que d'aquesta manera es simplifica la instal·lació. Per a poder instal·lar aquest sistema s'ha calculat que seria necessària la perforació d'un sondeig fins als 164 m de profunditat en el que s'introduirien col·lectors de calor, els quals consisteixen en un doble tub per on hi circula el fluid que transporta la calor. Mitjançant l'ús d'un sistema com aquest s'ha pogut observar que les necessitats de climatització i ACS quedarien cobertes, de manera que s'ha pogut complir l'objectiu principal del treball. També cal destacar que es podria duu a terme una instal·lació de camps de sondes geotèrmiques, així d'aquesta manera no seria necessària una perforació tant profunda com la calculada, però degut a la limitació d'espai, aquesta opció queda descartada juntament amb qualsevol tipus de sistema tancat amb el intercanviador horitzontal.

En aquest treball també s'ha demostrat que l'ús d'aquest tipus d'energia renovable és més rentable amb el pas del temps que no pas l'ús de combustibles fòssils, tot i que en un primer instant suposi una inversió inicial major. A més l'ús de les energies renovables permet reduir la dependència existent dels combustibles fòssils i les emissions de gasos d'efecte hivernacle.

12. Bibliografia

Agència Catalana de l'Aigua (ACA).

BiU arquitectura i paisatge.

Catàleg Vaillant Geotherm. Edició Febrer 2010.

CENCAT. Consultoría Energética Cataluña, S.L.

Código Técnico de la Edificación (CTE).

Endesa.

Estudi geotècnic i reconeixement geològic del subsòl.

Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio técnico para 2011-2020. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

Gas Natural Fenosa.

Google maps.

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC).

Institut Meteorològic de Catalunya.

Otras formas de energía. Vol III – Energías renovables minoritarias: Geotérmica y marina. Hidrogeno y pilas de combustible. Áreas de Energías Renovables. Universidad San Pablo.

Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)

www.petromercado.com

13. Agraïments

Agraeixo a l'empresa BiU arquitectura i paisatge el fet d'haver-me proporcionat un informe geotècnic a partir del qual desenvolupar el treball exposat.

Agreixo al meu tutor David Pérez Hidalgo, la seva dedicació i paciència en el transcurs d'aquest treball de fi de grau.

ANNEX 1. Geotèrmia.

Índex.

1. Introducció	pàg. 1
2. Conceptes bàsics	pàg. 1
2.1 Gradient geotèrmic	pàg. 1
2.2 Fluid geotèrmic	pàg. 1
2.3 Recurs geotèrmic	pàg. 2
2.4 Jaciment geotèrmic	pàg. 3
3. Tecnologies per a l'aprofitament de l'energia geotèrmica	pàg. 3
3.1 Tecnologies per a usos directes de la calor	pàg. 3
3.1.1 La bomba de calor geotèrmica	pàg. 4
3.1.1.1 Sistemes oberts	pàg. 5
3.1.1.2 Sistemes tancats	pàg. 5
3.1.2 Sistemes d'emmagatzement subterrani d'energia tèrmica (UTES)	pàg. 10
3.1.2.1 Sistemes oberts	pàg. 10
3.1.2.2 Sistemes tancats	pàg. 10

1. Introducció.

La creixent sensibilització ambiental i el context energètic de la societat han donat lloc a que les energies renovables, l'estalvi i la eficiència energètica s'hagin convertit en una de les millors opcions per satisfer les necessitats de subministrament energètic. Segons es presenta en el Manual de geotèrmia editat per IDAE₃ es consideren renovables les fonts energètiques primàries que procedeixen, és a dir, que tenen el seu origen en la radiació solar, ja sigui de forma directa com la solar tèrmica o la fotovoltaica, o de forma indirecta com la eòlica, la hidroelèctrica i la biomassa. Entre aquestes s'inclou la energia geotèrmica la qual es diferencia de la resta de energies renovables ja que prové del calor de l'interior de la Terra, que té el seu origen en els moviments diferencials entre les diferents capes que constitueixen la Terra, en el calor inicial que es va alliberar durant la seva formació el qual encara arriba a la superfície, en la desintegració de isòtops radioactius presents a l'escorça i al mantell, i en el calor alliberat en la cristallització del nucli extern. L'energia geotèrmica engloba el calor emmagatzemat en les roques, sòls i aigües subterrànies, sense importar quina sigui la seva temperatura, profunditat i origen, però no el contingut en les masses d'aigua superficials tant continentals com marines.

2. Conceptes bàsics.

2.1 Gradient geotèrmic

Un concepte necessari per entendre l'energia geotèrmica és l'existència d'un gradient geotèrmic, el qual es pot definir com l'augment de temperatura que es pot registrar al augmentar la profunditat. En general el valor del gradient geotèrmic que s'ha pogut documentar a la major part del planeta es situa entre els 2,5 °C i els 3 °C cada 100 metres de profunditat, cal destacar que en algunes zones en concret l'augment de la temperatura amb la profunditat és molt superior al indicat anteriorment, aquest és l'anomenat geotèrmic anòmal, el qual coincideix amb àrees geològicament actives de l'escorça terrestre. Per tant el concepte de gradient geotèrmic permet donar a terme estimacions sobre el flux de calor que es transmet des de les zones internes de l'escorça fins les externes. Aquest concepte s'expressa en mW/m^2 i representa la quantitat de calor geotèrmic que es desprèn per unitat de superfície.

2.2 Fluid geotèrmic.

Un altre concepte que intervé en l'aprofitament de l'energia geotèrmica és el de fluid geotèrmic, ja que el calor que es troba contingut en les roques i els sòls està massa difós per a ser extret directament de forma econòmica, de manera que és necessària la presència d'un fluid que transporti aquesta calor fins la superfície d'una manera concentrada, en apartats posteriors a aquest s'explicaran els diferents mètodes d'aprofitament d'aquesta calor. Generalment el fluid geotèrmic consisteix en un líquid calent, ric en sals minerals i/o vapors, el qual en la majoria dels casos és aigua. Un cop en superfície el fluid geotèrmic, en funció del seu contingut en calor, es destinarà si és possible a la producció d'energia elèctrica o en cas contrari, el seu calor s'aprofitarà directament utilitzant bombes de calor o intercanviadors.

2.3 Recurs geotèrmic.

El recurs geotèrmic es defineix com la fracció d'energia geotèrmica aprofitada de una manera tècnica i econòmica. Aquest concepte de recurs geotèrmic inclou des de la calor que pot observar-se en els horitzons més superficials del sòl fins la que es troba emmagatzemada en roques situades a grans profunditats.

Es poden observar diversos tipus de recursos geotèrmics, els qual es classifiquen segons el seu nivell tèrmic o el que és el mateix, la seva entalpia, ja que és un factor que condiciona clarament el seu aprofitament. La classificació presentada en aquest treball es basa en els valors de temperatura admesos per la Plataforma Tecnològica Espanyola de Geotermia (GEOPLAT).

- Recursos geotèrmics d'alta entalpia ($T > 150^{\circ}\text{C}$)
Es localitzen principalment en zones amb gradients geotèrmics molt elevats, i es situen a profunditats molt variables, però generalment són freqüents entre 1500 i 3000 m. Aquests recursos s'aprofiten principalment per a la producció d'electricitat.
- Recursos geotèrmics de mitja entalpia ($T = 100\text{-}150^{\circ}\text{C}$)
Es localitzen en zones amb un gradient geotèrmic elevat i a profunditats inferiors als 2000 m, però a les conques sedimentàries es localitzen entre els 3000 i 4000 m. Aquests recursos geotèrmics de mitja entalpia són destinats a la producció d'electricitat principalment, però també poden ser utilitzats per a calefacció i refrigeració de sistemes urbans i processos industrials.
- Recursos geotèrmics de baixa entalpia ($T = 30\text{-}100^{\circ}\text{C}$)
Generalment es localitzen en zones amb un gradient geotèrmic normal a profunditats que es situen entre els 1500 i els 2500 m, però també es poden observar aquests recursos a profunditats inferiors als 1000 m però amb un gradient geotèrmic més elevat. El seu aprofitament es centra sobretot en usos tèrmics en sistemes de climatització i aigua calenta sanitària (ACS) en zones urbanes i processos industrials.
- Recursos geotèrmics de molt baixa entalpia ($T < 30^{\circ}\text{C}$)
Les temperatures d'aquests recursos solen apropar-se a la mitja anual del lloc on es capten. Corresponen a l'energia tèrmica que es troba emmagatzemada en les aigües subterrànies, incloent aquelles aigües que provenen de la mineria i drenatges d'obres civils, el seu ús sempre és exclusivament energètic. Aquests recursos es solen trobar a profunditats inferiors a 200m de profunditat. En aquest tipus de recurs l'energia pot ser captada de una manera eficient gràcies a l'estabilitat tèrmica del subsòl en front a l'oscil·lació estacional del ambient, com a conseqüència de la transmissió de calor cap a les zones més externes de l'escorça terrestre. Aquesta transmissió fa possible que a partir de 8-10 m de profunditat la temperatura del terreny es mantingui estable durant tot l'any. Les aplicacions principals d'aquest tipus de recurs es centren en els usos

directes de la calor com per exemple climatització i ACS en zones urbanes. Aquest treball es centrarà en aquest tipus de recurs.

2.4 Jaciment geotèrmic.

Espai físic a l'interior de l'escorça terrestre amb unes condicions geològiques determinades, en el que es localitza un recurs geotèrmic, l'explotació del qual és econòmicament viable.

Els jaciments geotèrmics poden classificar-se segons diferents criteris: context geològic, nivell de temperatura, mètode d'explotació i tipus d'ús. El més típic és classificar-los en funció del nivell tèrmic dels fluids que contenen.

- Jaciments d'alta entalpia: el fluid es troba en unes condicions d'alta pressió i temperatura ($T > 150^{\circ}\text{C}$).
- Jaciments de mitja entalpia: el fluid es troba a temperatures que varien de 100 a 150°C .
- Jaciments de baixa entalpia: el fluid es troba a temperatures que varien de 30 - 100°C .

Per els casos en que l'energia geotèrmica és de molt baixa temperatura no s'acostuma a utilitzar el terme jaciment, ja que aquest recurs es troba molt difós a la superfície terrestre.

3. Tecnologies per a l'aprofitament de l'energia geotèrmica.

Depenent de si es tracta d'un recurs d'alta, mitja o baixa entalpia es podrà determinar el grau d'aprofitament d'aquest recurs, es poden establir dos tipus principals d'aplicacions d'aquest tipus de recursos.

- Producció d'electricitat, que correspondria a l'aplicació dels recursos d'alta i mitja entalpia.
- Usos directes de la calor, com per exemple la calefacció, refrigeració, aplicacions en l'agricultura (hivernacles), etc. Aquest tipus d'aplicació correspondria als recursos de baixa i molt baixa entalpia.

Les tecnologies aplicades varien en cada cas ja que depèn de la profunditat a la qual es trobi el recurs, de l'aprofitament previst i essencialment del tipus de recurs.

Aquest treball es centrarà en els usos directes de l'energia geotèrmica, ja que el recurs a partir del qual es desenvolupa aquest treball estaria comprès dins el grup de recurs geotèrmic de molt baixa entalpia, a continuació es tractarà l'apartat de les diferents tecnologies emprades per a usos directes de la calor.

3.1 Tecnologies per a usos directes de la calor.

L'ús directe de l'energia geotèrmica inclou una gran varietat d'usos com per exemple, climatització, aigua sanitària calenta (ACS), piscines climatitzades, etc.

Les temperatures favorables per l'aprofitament directe del calor geotèrmic inclouen un ventall molt ampli que compren des dels recursos de baixa entalpia a els de molt baixa entalpia.

Aquest treball es centrarà en explicar les diverses tecnologies existents en el camp de la geotèrmia somera.

Degut a l'estabilitat tèrmica del subsòl en front dels canvis estacionals, en els seus primers 100-200 metres, resulta un medi molt adequat per proporcionar i emmagatzemar energia tèrmica. A partir dels 10-20 metres de profunditat la temperatura del subsòl es manté constant pràcticament, incrementant-la en funció del gradient geotèrmic al augmentar la profunditat. (3º cada 100m). Les tecnologies per aprofitar aquesta energia emmagatzemada en els primers metres de l'escorça terrestre són bàsicament dos:

- Bomba de calor geotèrmica, o bomba per a calor de font terrestre
- Emmagatzematge subterrani de l'energia tèrmica.

En els dos casos, les tecnologies desenvolupades per a l'aprofitament de la calor del subsòl són funció de l'accessibilitat del recurs geotèrmic i poden classificar-se en dos tipus principals que alhora inclouen diferents subtipus:

- Circuits oberts, els quals es basen en l'ús d'aigües subterrànies, impliquen la captació d'aigua de un aquífer per al seu aprofitament. En aquest cas l'aigua subterrània és el medi de transport de la calor.
- Circuits tancats, es basen en l'ús d'un fluid que bàsicament és aigua amb algun additiu, per extreure la calor dels materials existents a poca profunditat en el subsòl. Aquests tipus de tecnologies implica la instal·lació de un intercanviador en el terreny per a l'aprofitament energètic, la paret del qual separa el fluid termoportador de la roca i l'aigua subterrània.

Hi ha una tercera categoria a la que pertanyen aquells sistemes que no poden ser inclosos en les dos categories anteriors. Es tractaria d'aquells en els que existeix una certa diferenciació entre l'aigua subterrània i el fluid termoportador, però no hi ha cap mena de barrera entre ells, com són aquells casos en que s'aprofiten les temperatures de les aigües de mines o d'obres subterrànies, amb caudals suficients per a la seva explotació.

3.1.1 La bomba de calor geotèrmica.

La bomba de calor geotèrmica extreu la calor del subsòl a una temperatura relativament baixa, augmentant-la mitjançant el consum d'energia elèctrica, per possibilitar el seu ús posterior en sistemes de calefacció. Existeix la possibilitat de invertir el procés injectant la calor absorbida per la refrigeració en el subsòl. Aquest tipus de tecnologia representa l'única possibilitat d'aprofitament dels recursos de molt baixa entalpia ($T < 30^{\circ}\text{C}$); associats a l'anomenada geotèrmia somera i presents en qualsevol lloc del planeta, són els que millor s'adapten a les necessitats de climatització d'edificis.

La bomba de calor pot transferir la calor des de les fonts naturals del entorn cap a les dependències interiors que es pretén calefacter.

Les bombes de calor geotèrmiques funcionen de la mateixa manera que les bombes de calor convencionals, de manera que poden escalfar, refrigerar i proporcionar aigua sanitària calenta, però amb major eficàcia.

Per escollir el sistema més adequat per a una instal·lació determinada cal tenir en compte els següents aspectes: la geologia i la hidrologia del terreny de la zona d'estudi, les dimensions i ús de la superfície disponible, l'existència de fonts de calor potencials i les característiques de l'edifici en quant a climatització respecte.

3.1.1.1 Sistemes oberts.

En els sistemes oberts el fluid portador de la calor és l'aigua subterrània que flueix per el subsòl, actua com a font de calor i com a medi per el intercanvi de calor. En la majoria dels casos són necessaris dos sondejors, un per a l'extracció de l'aigua subterrània i un altre per reinjectar-la en el mateix aquífer del que ha estat obtinguda. El sondeig de captació està equipat amb una bomba submergible, que condueix l'aigua subterrània fins la bomba de calor on un cop refredada després d'extreure tota la seva energia és retornada al aquífer del qual prové o és abocada en un canal superficial. (Fig 1). Aquest tipus de sistemes es localitzen en zones amb aquífers al·luvials amb grans productivitats i piezometries someres. Les avantatges d'aquest tipus de sistemes són, que es tracta de sistemes senzills, que els costos de la inversió són baixos i que tenen un rendiment elevat, per altre banda existeix el inconvenient de que la seva explotació està lligada a una tramitació administrativa complexa.

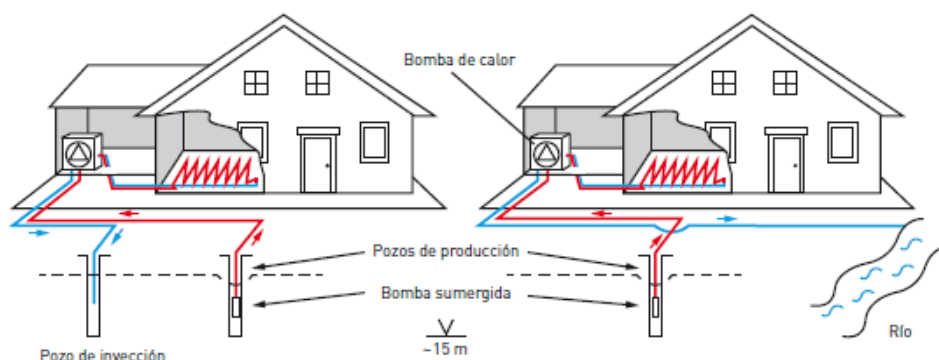


Fig.1. Diagrames de funcionament d'una bomba de calor geotèrmica amb sondejors de captació d'aigua (sistema obert). Font: Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio técnico para 2011-2020. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

3.1.1.2 Sistemes tancats.

Aquest tipus de sistemes es basen en la utilització de intercanviadors enterrats, amb un fluid termoportador en el seu interior que cedeix l'energia del subsòl a la bomba i viceversa. Per tant en aquest cas és el fluid que circula per el intercanviador en circuit tancat el que es porta a la bomba de calor i no l'aigua subterrània com succeïa en el cas anterior dels sistemes oberts. Els sistemes tancats permeten la possibilitat d'aprofitar el calor acumulat en els materials dels nivells més externs de l'escorça terrestre, en les situacions en que la impermeabilitat del terreny o la profunditat dels nivells no permet explotar l'energia de les aigües del subsòl. Aquest tipus de sistemes poden ser de dos tipus, horitzontals i verticals, en funció de com es situïn els intercanviadors en el terreny.

Els sistemes tancats amb intercanviador de calor horitzontal són els sistemes més fàcils de instal·lar, ja que el més habitual és retirar completament la capa més superficial del terreny, col·locar el sistema i posteriorment cobrir-lo amb el material retirat anteriorment. Cal que les canonades es disposin seguint un disseny relativament dens. (Fig. 2).

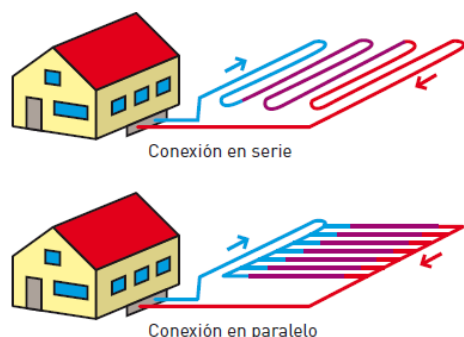


Fig.2 Sistema tancat amb intercanviador de calor horitzontal. Font: Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio técnico para 2011-2020. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

Per solucionar els problemes d'espai s'han desenvolupat un tipus de intercanviadors de calor especials que són els més adequats per als sistemes que fan servir bombes de calor per a usos en calefacció i refrigeració. Un tipus d'aquests intercanviadors s'anomenen *slinky*, aquest tipus es basa en la col·locació de bobines de polietilè en el terreny, estenent les espires i intercalant terra seleccionada o sorra. (Fig. 3) Aquestes espires es poden disposar de manera horitzontal o vertical. També cal destacar un altre tipus de intercanviadors que està estès per Europa, es tracta del sistema tancat amb col·lector en rasa, el qual consisteix en diverses canonades que es situen a les parets de la rasa a varis metres de profunditat. (Fig. 4)

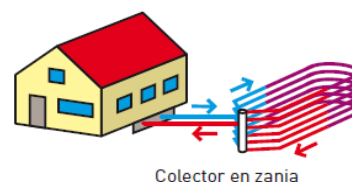
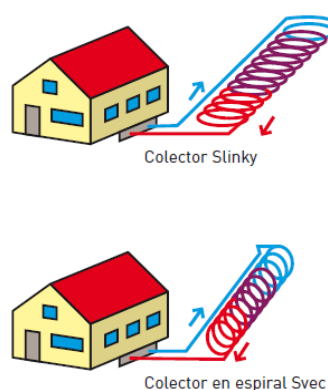


Fig. 4 Sistema tancat amb col·lector en rasa. Font: Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio técnico para 2011-2020. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

Fig. 3. Sistemes tancats amb intercanviadors de calor de tipus bobina. Font: Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio técnico para 2011-2020. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

La radiació solar que incideix en la superfície terrestre representa el principal medi de recarrega tèrmica d'aquests sistemes, per la qual cosa és important no cobrir la superfície situada per sobre de les canonades.

Aquest tipus de sistemes tenen un cost inferior al que suposa la perforació de sondejos però presenten la necessitat de requerir una superfície de dimensions considerables, a part d'estar sotmesos a les variacions de temperatura i humitat que afecten al rendiment estacional.

Els sistemes tancats amb el intercanviador vertical impliquen la perforació de sondejos la profunditat dels quals pot variar, però normalment és entre els 60 i 200 metres de profunditat amb un diàmetre de 10 a 15 cm, en aquests sondejos s'introdueixen col·lectors de calor, que consisteixen en un doble tub, en el cas més senzill, per els que hi circula el fluid. Aquests dispositius verticals de captació de calor es denominen sondes geotèrmiques. (Fig. 5)

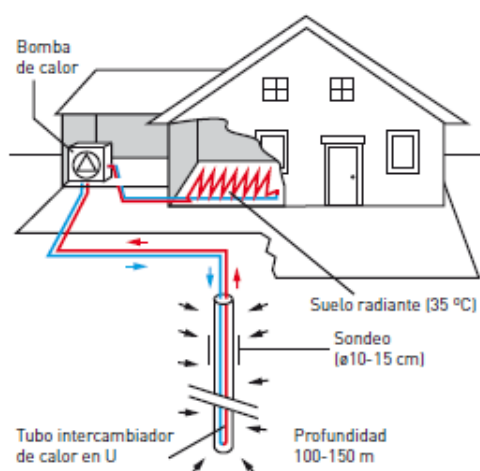


Fig.5 Sonda geotèrmica. Font: Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio técnico para 2011-2020. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

La font de recarrega de l'energia tèrmica captada per els intercanviadors verticals és, en la zona superficial, la radiació solar i en la zona inferior, el flux de calor geotèrmic, amb certa influència de l'aigua subterrània que circula.

Prèviament a la instal·lació de una sonda geotèrmica cal recopilar informació sobre la conductivitat del terreny, la humitat natural del sòl, la presència o no d'aigües subterrànies i el tipus de prestacions de la instal·lació prevista. En aquells casos en que són necessàries potències majors a les habituals poden utilitzar-se camps de sondes geotèrmiques. (Fig. 6)

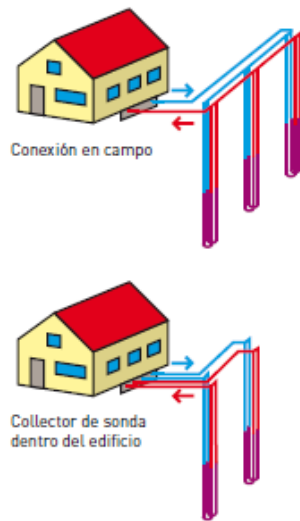


Fig. 6 Intercanviadors verticals en sondejos (sondes geotèrmiques). Font: Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio técnico para 2011-2020. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

Les instal·lacions que disposen de bomba de calor acoblada a circuits tancats amb intercanviadors verticals poden tenir dimensions variables, des de una vivenda unifamiliar amb un sol intercanviador, fins a grans edificis que requereixen camps de sondes geotèrmiques.

Els tubs captadors poden instal·lar-se de diverses maneres en el interior del sondeig, poden considerar-se dos tipus bàsics de intercanviadors verticals:

- Tubs en U: el sistema de captació consisteix en un parell de tubs units a una base mitjançant un angle de 180 °, les sortides del qual es connecten al circuit primari de les bombes de calor geotèrmiques. A cada sondeig poden instal·lar-se, depenent del diàmetre de la perforació, fins a quatre parells de tubs en U. L'avantatge d'aquesta configuració és el baix cost del material dels tubs, la qual cosa a permès que els intercanviadors verticals d'aquest tipus siguin els més utilitzats a Europa (Fig. 7).



Fig. 7 Tipus d'instal·lació de tubs captadors verticals en sondes geotèrmiques. Font: Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio técnico para 2011-2020. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

- Tubs coaxials: el sistema de captació en la seva disposició més senzilla consta de dos tubs concèntrics de diferent diàmetre, però també existeixen configuracions més complexes que inclouen un major nombre de tubs col·lectors (Fig.8). L'avantatge d'aquest tipus de sistema és el poc espai de terreny que ocupa. El inconvenient principal són els costos inicials de implantació.

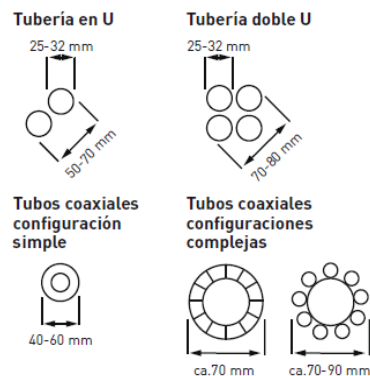


Fig. 8 Seccions de diferents tipus de intercanviadors verticals. Font: Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio técnico para 2011-2020. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

Una variant d'aquest últim sistema són les cimentacions energètiques, que aprofiten les estructures de cimentació profunda dels edificis per captar i dissipar l'energia tèrmica del terreny. En aquest cas es tractaran els propis pilotes de la cimentació, que són peces de formigó armat, com a sondes geotèrmiques, d'aquesta manera l'estructura de cimentació també és aprofitada com un camp de sondes geotèrmiques (Fig. 9).

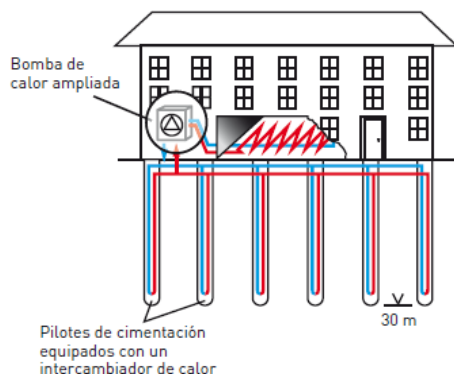


Fig. 9 Sistema de cimentacions energètiques. Font: Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio técnico para 2011-2020. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

En aquests sistemes anomenats cimentacions geotèrmiques s'insereixen en la totalitat o en una part dels pilotes una xarxa de tubs en U, per els quals hi circula aigua amb un anticongelant, que es connecten en circuit tancat a una bomba de calor (Fig. 10).

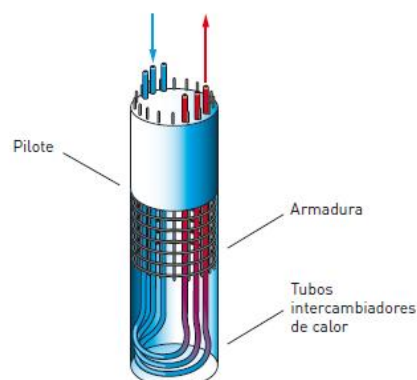


Fig. 10 Tubs intercanviadors de calor integrats en un pilot per cimentació. Font: Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio técnico para 2011-2020. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

Aquest sistema ofereix com avantatge, un considerable estalvi de feina, al desenvolupar-se de forma conjunta els projectes de climatització i construcció. El seu principal inconvenient és la dificultat que presenta una reparació dels tubs captadors un cop el sistema està instal·lat, motiu per el qual es sol sobredimensionar el número de parells de tubs captadors.

Existeix una altre categoria de sistemes, en la que s'inclouen els sistemes que no poden classificar-se com a oberts o tancats, com seria el cas dels pous de tipus columna i dels d'aprofitament d'aigües de mines i túnels.

3.1.2 Sistemes d'emmagatzement subterrani d'energia tèrmica (UTES)

En aquests sistemes s'emmagatzema calor o fred sota terra. Els mètodes de connexió amb el subsòl inclouen com en el cas de la bomba de calor geotèrmica, sistemes oberts (ATES) i sistemes tancats (BTES)

Una combinació de emmagatzemen de fred i calor és la connexió de superfícies de carrers i carreteres a un sistema UTES. Es pot emmagatzemar el calor de la radiació solar en la superfície i utilitzar-lo durant el hivern per desfer el gel i la neu acumulats sobre aquesta superfície. Aquest sistema s'usa principalment en ponts, però també pot ser utilitzat en carreteres, pistes d'aterratge, etc.

3.1.2.1 Sistemes oberts (ATES). Emmagatzematge en aquífers.

Aquests sistemes, en els que l'aigua subterrània és el medi de transport de la calor, es caracteritzen per la seva alta porositat, la seva baixa conductivitat hidràulica i el seu reduït flux d'aigua subterrània (Fig. 11)

3.1.2.2 Sistemes tancats (BTES). Emmagatzematge en perforacions.

Aquests magatzems inclouen perforacions i canonades, requereixen un terreny amb un alt calor específic, una conductivitat tèrmica mitja i absència de flux d'aigua subterrània (Fig.11).

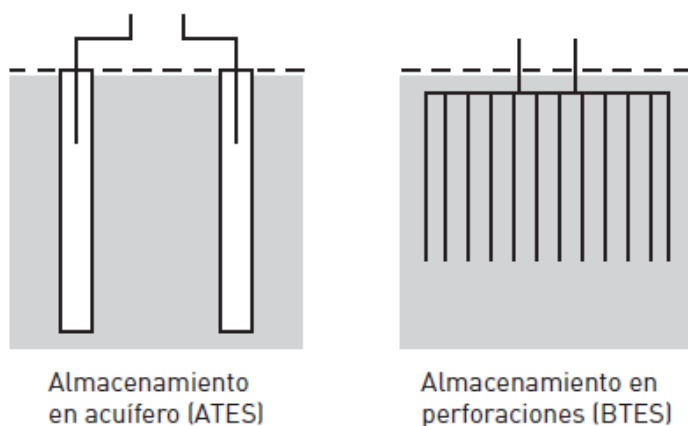


Fig.11 Sistemes d'emmagatzement subterrani de calor geotèrmic. Font: Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio técnico para 2011-2020. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía